

Ⅲ-319

均質化法による亀裂性岩盤の変形特性評価

応用地質 正 員 ○徳永 理
 東北大学 正 員 京谷孝史
 名古屋大学 正 員 林 良嗣

1. はじめに

本研究では亀裂性岩盤の変形特性に注目し、客観的・数学的手法である均質化法を用いて、節理のような規則的な亀裂群が材料の変形特性に及ぼす影響を調べるとともに、それらの結果を整理して、構成岩石の変形特性と亀裂の分布状況から岩盤の平均的変形特性を定量的に知ることでできる図表を提示する。

2. 均質化法の理論と適用

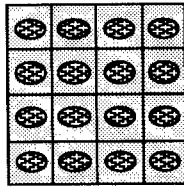


図.1 領域全体とユニットセルの関係

均質化法とは異種材料を含む材料の平均特性を求める数学的手法であり、これによると図.1に示すような異種材料が規則的に配置された微視的構造を有する材料の平均挙動を与える弾性係数と物体力が、

$$E_{ijkl}^H(\mathbf{x}) = \frac{1}{|Y|} \int_Y \left(E_{ijkl}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) - E_{ijpq}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \frac{\partial \chi_p^{kl}(\mathbf{x}, \mathbf{y})}{\partial y_q} \right) d\mathbf{Y} \quad (1)$$

$$f_i^H(\mathbf{x}) = \frac{1}{|Y|} \int_Y f_i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) d\mathbf{Y} \quad (2)$$

で与えられる。 $E_{ijkl}^H(\mathbf{x})$ を均質化弾性係数

(Homogenized elastic coefficient)、 $f_i^H(\mathbf{x})$ を均質化物体力 (Homogenized body force) という。式(1)中の $\chi^{kl}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ は k と l の組み合わせに応じて定まるベクトル関数である。これはユニットセルの変形特性関数と呼ばれ、ユニットセルに巨視的な一定の単位ひずみを与えたときに生じる変位の微視的な乱れを表し、

$$\int_Y E_{ijpq}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \frac{\partial \chi_p^{kl}(\mathbf{x}, \mathbf{y})}{\partial y_q} \frac{\partial v_l}{\partial y_j} d\mathbf{Y} = \int_Y E_{ijkl}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \frac{\partial v_l}{\partial y_j} d\mathbf{Y} \quad (3)$$

を解くことによって得られる。[1], [2]

これをもとに変形特性解析プログラムを作成した。モデルはユニットセルをひとつのメッシュとした2次元有限要素解析モデルである。

まず(1)式を4点アイソパラメトリック要素を用いて離散化し、各節点での $\chi^{kl}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ が定まる。

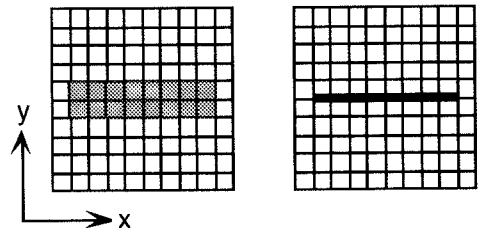
次に(3)式も同様に4点アイソパラメトリック要素を用いて離散化し、求めた $\chi^{kl}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ を代入し、均質化弾性係数 $E_{ijkl}^H(\mathbf{x})$ が定まる。

3. 解析結果の検討

作成した均質化弾性係数マトリックス評価プログラムを利用し、亀裂性岩盤の均質化弾性係数を計算した。

計算に使用した有限要素メッシュの模式図を図.2に示す。亀裂平行方向を x 方向、鉛直方向を y 方向としている。

圧縮力が働く場合に亀裂は閉合することを考慮し、なおかつ亀裂面付近は風化等の影響で周辺基質部より弱いことを再現するため、亀裂周辺部の弾性係数を基質部の10分の1とした。これが図.2(左)の網掛けの部分である。一方、亀裂に引張力が働く場合、亀裂は引張力に対して抵抗せずに開口するという状態を再現するため、亀裂部分に2重節点を与えてこれを表現した。これが図.2(右)の太線の部分である。前者の場合をclosed crack、後者の場合をopen crackと呼ぶことにする。

図.2 有限要素メッシュ
(左: closed crack、右: open crack)

このふたつは亀裂が受ける力の状態の極端な場合を再現したもので、実際の現象はこのふたつのケースの間にくるものと思われる。

さらに図中で E^h と E という記号を用いているが、 E^h は亀裂を含んだ材料の均質化弾性係数であり、 E は亀裂以外の部分に与えた基質の弾性係数である。従って亀裂の影響により弾性係数がどの程度小さくなったかを表す値となる。

以上のような準備のもとに、亀裂をモデル化した有限要素メッシュを利用して、均質化弾性係数を計算した。その際に亀裂間隔、基質部弾性係数、基質部ポアソン比を変化させ、それら材料特性が均質化弾性係数にどのように影響するかを図示した。

図.3 は亀裂間隔の変化が均質化弾性係数に及ぼす影響を計算したものである。x 軸の spacing とは亀裂の長さに対する亀裂の間隔である。spacing の値が小さいほど亀裂が密に配置されていることになる。

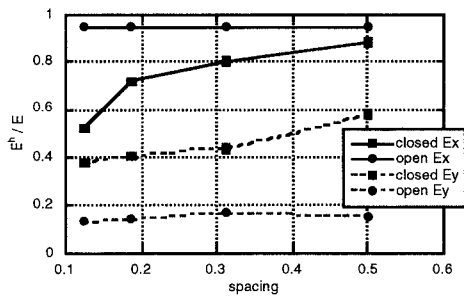


図.3 亀裂間隔による均質化弾性係数の変化

次に図.4 は基質部弾性係数を変化させ、均質化弾性係数に及ぼす影響を計算したものである

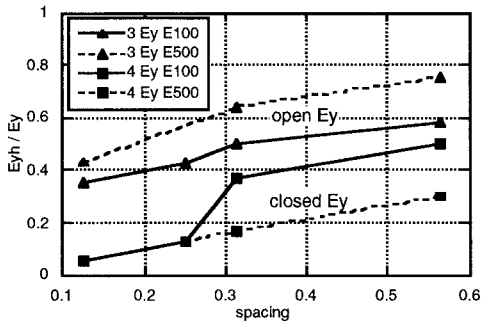


図.4 基質部弾性係数による均質化弾性係数の変化（亀裂鉛直方向）

次に図.5 は基質部ポアソン比を変化させ、均質化弾性係数に及ぼす影響を計算したものである。

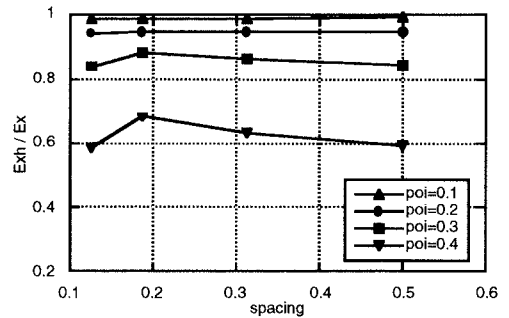


図.5 基質部ポアソン比による均質化弾性係数の変化（亀裂平行方向）

4. おわりに

均質化弾性係数マトリックス評価プログラムを利用し、構成岩石の変形特性と亀裂の分布状況から岩盤の平均的変形特性を定量的に知ることのできる図表を提示した。それにより亀裂性岩盤の変形特性には亀裂の持つ属性と岩石の変形特性が強く影響していることがわかった。逆をいえば亀裂性岩盤の変形特性は、亀裂の持つ属性と岩石の変形特性を持って説明されなくてはならないものであることがわかった。今回は岩盤の亀裂を周期性と仮定して解析を行ったが、実岩盤が完全な周期性を持たないにしろ、岩盤の各属性が変形特性に与える影響を評価する、有効な一手法と考える。

参考文献

- [1] T.Kyoya, T.Kawamoto: Quantitative evaluation of effect of pattern bolting by the homogenization method, A.A.BALKEMA, 1993
- [2] 徳永 理: 均質化法による亀裂性岩盤の変形特性評価、名古屋大学修士論文、1995